پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۱۰ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوم ۱۳۹۸، صفحهٔ ۱۳۱-۱۱۹
نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 2, 2019, p. 119-131 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.68262

تأثیر آبیاری تکمیلی، زمان و روش‌های کاربرد کود آهن بر خصوصیات کمّی و کیفی گیاه نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.)

لقمان احمدی[1]، مختار قبادی[2]*، محسن سعیدی[2] و جلال قادری[3]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، loghmanahamdi2004@yahoo.com
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
(به‌ترتیب m.ghobadi@yahoo.com و msaeidi667@gmail.com)
۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، ghaderij@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر آبیاری تکمیلی، زمان و روش‌های کاربرد کود آهن بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات کیفی دانه نخود زراعی، آزمایشی در سال زراعی۹۱-۱۳۹۰ در دانشگاه رازی واقع در کرمانشاه اجرا گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خُردشده انجام شد. شرایط دیم و آبیاری تکمیلی به‌عنوان فاکتور اصلی و همچنین زمان و نحوهٔ کاربرد کود آهن به‌عنوان فاکتور فرعی در هشت سطح شامل عدم مصرف کود آهن (Fe_1)، خاک‌کاربرد (Fe_2)، محلول‌پاشی در مرحله شاخه‌دهی (Fe_3)، محلول‌پاشی در مرحلهٔ گلدهی (Fe_4)، محلول‌پاشی در مرحلهٔ غلاف‌بندی (Fe_5)، خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ شاخه‌دهی (Fe_6)، خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ گلدهی (Fe_7) و خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ غلاف‌بندی (Fe_8) بودند. نتایج نشان داد که از نظر اکثر صفات مورد بررسی، آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم برتری داشت (به‌جُز میزان پروتئین دانه). تأثیر مثبت آبیاری تکمیلی روی عملکرد دانه عمدتاً از طریق افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن۱۰۰دانه بود. مصرف کود آهن بر صفات مهمی چون عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه در غلاف، میزان آهن دانه و درصد پروتئین دانه اثر معنی‌داری داشت. تیمارFe_7 از نظر عملکرد دانه (۱۶۱۴کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۳۶۸۳کیلوگرم در هکتار) و درصد پروتئین دانه (۲۷/۷درصد)، بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد، هرچند میزان آهن دانه در تیمار Fe_8 (۶۶میلی‌گرم درکیلوگرم) بیشتر بود. جهت ارتقاء عملکرد کمّی و کیفی نخود در شرایط اقلیمی غرب ایران، انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و غلاف‌بندی و همچنین مصرف کود آهن در دو مرحله خاک کاربرد و محلول‌پاشی در مرحله گلدهی قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، آهن دانه، اجزای عملکرد، پروتئین دانه، عملکرد دانه

مقدمه

نخود در ایران در مقایسه با سایر حبوبات از سطح زیرکشت و تولید، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در سال زراعی۹۳-۱۳۹۲، سطح زیرکشت نخود کشور حدود ۵۲۸هزارهکتار برآورد شده که معادل ۶۴درصد از کل سطح زیرکشت حبوبات می‌باشد. در این سال، ۹۸/۳درصد از اراضی زیرکشت نخود به‌صورت دیم کشت شده‌اند (Anonymous, 2015). این گیاه عمدتاً در نظام‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود و به نهاده‌های کمی نیاز دارد (Bagheri *et al.*, 2001). خصوصیاتی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی سبب شده است که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفا نماید (Bagheri *et al.*, 2001).

خشکی و تنش ناشی از آن یکی از عواملی است که تولید محصولات زراعی را در مناطقی از دنیا تهدید می‌کند. در نواحی نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای به‌ویژه غرب آسیا و شمال آفریقا، مهم‌ترین فشار غیرزیستی بر کشاورزی، تنش خشکی و دمای بالا است (Galeshi *et al.*, 2006). از بین عوامل مختلف ایجادکنندهٔ تنش همانند بیماری، آفت، علف‌های‌هرز، غرقابی، شوری و سرما، عامل خشکی به تنهایی مسبب ۲۵درصد کاهش عملکرد محصولات زراعی در جهان است (Galeshi *et al.*, 2006). تنش خشکی موجب پیری زودرس، ریزش برگ‌ها، تغییر زاویهٔ برگ‌ها و لوله‌ای‌شدن برگ و... می‌شود. تنش رطوبتی میزان کلروفیل برگ را کاهش می‌دهد، لذا کاهش

* نویسنده مسئول: m.ghobadi@yahoo.com

کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکنندهٔ غیرروزنه‌ای به‌حساب آید (Mayoral, 1991).

آهن از عناصر غذایی مهم برای انسان می‌باشد. آهن در خیلی از فرآیندهای بیوشیمیایی شامل عمل انتقال الکترون، تنظیم ژن، جذب و انتقال اکسیژن و رشد و نمو سلول شرکت می‌کند. کمبود آهن می‌تواند موجب بروز بیماری‌هایی نظیر کم‌خونی آنمی، ورم زبان، ورم زاویه‌ای مخاط دهان و لثه و آبی شدن صلبیهٔ چشم شود (Beard, 2001).

برای گیاهان، از بین عناصر کم‌مصرف، آهن به میزان بیشتری مورد نیاز است (به‌صورت محلول تقریباً یک میلی‌گرم در لیتر). برخی محققان حتی در تقسیم‌بندی عناصر غذایی، آهن را جزء عناصر پُرمصرف منظور می‌دارند (Mengel & Kirkby, 1987). در گیاه، آهن در فرایندهای فیزیولوژیکی متعددی مثل فتوسنتز، تنفس میتوکندریایی، آسیمیلاسیون نیتروژن، بیوسنتز برخی تنظیم‌کننده‌های رشد، تولید و پاکسازی انواع رادیکال‌های آزاد نقش دارد (Hansch & Mendel, 2009). اولین آثار کمبود آهن در گیاه بر ساختار و عملکرد کلروپلاست تظاهر می‌کند. بنابراین در شرایط کمبود آهن، کاهش محتوای آهن با کاهش محسوس مقدار کلروفیل همراه است (Gogor Cena *et al*., 2004). در برگ‌هایی که با کمبود آهن مواجه هستند، هرچند رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر قرار می‌گیرند، اما اثر کمبود آهن بر همه رنگیزه‌های فتوسنتزی و اجزای انتقال الکترون به یک اندازه نیست. به‌عنوان مثال، فعالیت فتوسیستمI بیشتر از فتوسیستمII کاهش می‌یابد و تأثیر مصرف کود آهن بر فتوسیستمI بیشتر از فتوسیستمII می‌باشد (Romheld & Marschner, 1991). نتایج یک آزمایش نشان داد که با کاربرد کود کلات آهن در خاک و محلول‌پاشی آهن در گیاه گلرنگ، مقدار آنتوسیانین و فلاونوئید افزایش یافت (Fathi Amirkhiz *et al*., 2011).

کمبود آهن بر رشد و عملکرد گیاه اثر سوء دارد (Briat, 2007). در یک گزارش، کمبود آهن راندمان مصرف آب و آب در دسترس فیزیولوژیک را در دو واریته نخود زراعی کاهش داد و مانع شکل‌گیری بیوماس کامل گیاه گردید (Mahmoudi *et al*, 2007). کاربرد کود آهن سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی و بهبود کارآیی مصرف آب در گیاه شوید گردید (Gholinezhad, 2018). کلروز ناشی از کمبود آهن، موجب کاهش عملکرد کاه و عملکرد دانه در چندین لگوم شامل نخود زراعی، عدس و لوبیا شده است (Mengel & Kirkby, 1987). کمبود آهن باعث کاهش چشمگیری در عملکرد دانهٔ سویا و زردی گیاه گردید (Wiersma, 2005). در مطالعه‌ای با محلول‌پاشی کود آهن ۰/۵درصد روی کولتیوارهای نخود رشد کرده در مناطق با خاک قلیایی و pH بالا، علائم کمبود آهن بهبود داده شد و موجب افزایش عملکرد ۵۰درصدی در کولتیوارهای کم‌بازده شد، اما اثر چندانی روی کولتیوارهای پُربازده نداشت (Saxena & Sheldark, 2003). در بررسی دیگر، محلول‌پاشی سولفات آهن در اوایل شروع کلروز، در بهبود علائم کمبود مؤثر، اما تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد محصول نخود تیپ کابلی نداشت (Saxena *et al*., 1990). در مطالعه‌ای دیگر، کود آهن موجب افزایش معنی‌دار در شاخه دهی و افزایش غیرقابل‌ملاحظه در اجزاء عملکرد نخود زراعی شد (Bahari *et al*., 2005). در آزمایشی بر روی سویا، محلول‌پاشی کود آهن موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، درصد پروتئین و روغن دانه شد (Mosivand *et al*., 2009). استفاده از کود آهن به همراه کود روی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد دانهٔ گندم شده است (Habib, 2009). گزارش شده که محلول‌پاشی آهن، اثر معنی‌داری روی افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا داشته است (Afshani *et al*., 2015). در آزمایشی دیگر، مقدار آهن دانهٔ گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی با سولفات آهن نسبت به حالت شاهد افزایش یافت (Zhang *et al*., 2010).

اسیدیته بالا، آهکی‌بودن و کمبود ماده آلی، از مشکلات خاک‌های موجود در مناطق با آب و هوای مدیترانه‌ای مثل ایران است. جذب آهن توسط ریشه گیاه در خاک‌های آهکی مخصوصاً در شرایط تنش خشکی با مشکل مواجه می‌شود. در چنین شرایطی، محلول‌پاشی آهن می‌تواند روشی مفید برای تغذیه گیاه باشد (Bybordi & Mamedov, 2010).

بر همین اساس، مقایسه تأثیر خاک کاربرد و محلول‌پاشی کود آهن در زمان‌های مختلف بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و کیفیت دانه نخود زراعی در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مهم‌ترین اهداف مورد نظر در این تحقیق بودند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی۹۱-۱۳۹۰ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی واقع در کرمانشاه اجرا گردید. این محل در طول جغرافیایی ۴۷درجه و ۹دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴درجه و ۲۱دقیقه و در ارتفاع ۱۳۱۹متر از سطح دریا واقع شده است. منطقه از نظر اقلیمی دومارتن، جزء آب و هوای سرد معتدل طبقه‌بندی می‌شود. وضعیت آب و هوایی منطقه در طول رشد گیاه نخود در جدول ۱ نشان داده شده است. قبل کاشت، از خاک مزرعه نمونه تهیه شد که نتیجهٔ آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- وضعیت آب و هوایی کرمانشاه در طول فصل رشد گیاه نخود زراعی در سال زراعی۹۱-۱۳۹۰
Table 1. The weather characteristics of Kermanshah during growth season of chickpea in 2013

ماه Month	دمای حداقل هوا Air Minimum Temperature (°C)	دمای حداکثر هوا Air Maximum Temperature (°C)	بارندگی Rainfall (mm)
اسفند March	-12	23	34
فروردین April	-5	26	47
اردیبهشت May	2	34	17
خرداد June	7	37	0
تیر July	8	40	0

جدول ۲- نتایج آزمون خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)
Table 2. The results of soil test (depth 0-30 cm)

شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	اسیدیته pH	مس Cu ($mg\ kg^{-1}$)	روی Zn ($mg\ kg^{-1}$)	آهن Fe ($mg\ kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg\ kg^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	پتاسیم K_2O ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر P_2O_5 ($mg\ kg^{-1}$)
18	37	45	7.4	1.34	1.4	3.9	4.6	1.35	520	5.8

این آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آبیاری تکمیلی به‌عنوان فاکتور اصلی در دو سطح (بدون آبیاری و آبیاری در مرحله گلدهی و غلاف‌بندی گیاه نخود) و فاکتور فرعی شامل زمان‌ها و روش‌های کاربرد کود آهن در هشت سطح شامل عدم کاربرد کود آهن (Fe_1)، مصرف کود آهن به صورت خاک‌کاربرد به هنگام کاشت (Fe_2)، محلول‌پاشی آهن در مرحلۀ شاخه‌دهی (Fe_3)، محلول‌پاشی آهن در مرحلۀ گلدهی (Fe_4)، محلول‌پاشی آهن در مرحلۀ غلاف‌بندی (Fe_5)، مصرف خاک‌کاربرد به هنگام کاشت+محلول‌پاشی در مرحلۀ شاخه‌دهی (Fe_6)، مصرف خاک‌کاربرد به هنگام کاشت+محلول‌پاشی در مرحلۀ گلدهی (Fe_7) و مصرف خاک‌کاربرد به هنگام کاشت+محلول‌پاشی در مرحلۀ غلاف‌بندی (Fe_8) بود. جهت اعمال فاکتور کود آهن به‌صورت خاک‌کاربرد، از کود کلات آهن ۶درصد (Fe EDDHA) شرکت OMEX آلمان به میزان ۱۰کیلوگرم در هکتار و بر اساس توصیه شرکت سازنده استفاده شد. همچنین جهت محلول‌پاشی برگ، از محلول سولفات آهن (شرکت کاوین حاوی ۱۰۰گرم بر لیتر آهن (Fe-EDTA)) بر اساس توصیه شرکت سازنده کود به مقدار یک لیتر در هکتار استفاده شد. رقم نخود زراعی مورد استفاده رقم آزاد بود که از تیپ کابلی می‌باشد. کشت در ۲۴اسفند انجام شد. تراکم مورد استفاده ۵۰ بوته در مترمربع بود. هر کرت شامل شش ردیف به طول پنج متر و فواصل بین دو ردیف ۲۵سانتی‌متر بود. با توجه به نتایج آزمون خاک، از کود اوره به‌صورت آغازگر به میزان ۲۵کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار استفاده شد. در صورت لزوم، وجین دستی انجام گرفت. برای مبارزه با کرم پیله‌خوار نخود از سم دلتامترین به میزان نیم لیتر در هکتار استفاده شد. در این تحقیق، صفات زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

عملکرد بیولوژیک (وزن کل اندام‌های هوایی): با برداشت چهار ردیف وسط هر کرت و با حذف اثر حاشیه در هنگام رسیدگی فیزیولوژیک و پس از خشک‌شدن بوته‌های نخود در دمای ۷۲درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ساعت و سپس توزین آن‌ها.

عملکرد دانه: با جداکردن دانۀ بوته‌های برداشت‌شده برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و توزین آن‌ها.

شاخص برداشت: با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک و ضرب عدد به‌دست‌آمده در عدد ۱۰۰.

عملکرد کاه: با کم‌کردن عملکرد دانه از عملکرد بیولوژیک.

تعداد غلاف در بوته: با شمارش تعداد غلاف در ۱۰بوتۀ برداشت‌شده از مزرعه، در هنگام رسیدگی فیزیولوژیک.

تعداد دانه در نیام: با شمارش تعداد کل دانه‌های ۱۰بوتۀ برداشت‌شده و سپس تقسیم عدد به‌دست‌آمده بر تعداد نیام‌های پُر.

وزن۱۰۰دانه: با شمارش چهار نمونۀ ۱۰۰عددی از دانه‌های بوته‌های برداشت‌شده جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه و سپس توزین آن‌ها.

درصد پروتئین دانه: با جدا کردن حدود ۲۰۰گرم بذر از هر تیمار و استفاده از روش NIR (Osborne, 2007) و تعیین درصد پروتئین بر حسب درصد ماده خشک بذر، توسط دستگاه تجزیه فوق سریع مدل DA-7200 ساخت شرکت Perten (کشور سوئد).

محتوای آهن دانه: با هضم نمونه‌های گیاهی به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCL و سپس استفاده از دستگاه جذب اتمی (Varian 220) (Farzami Sepehr, M. 2013).

داده‌های جمع‌آوری‌شده قبل از تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزارEXCEL طبقه‌بندی شدند. سپس با استفاده از نرم افزارMSTAT-C تست نرمال‌بودن، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها انجام شد. برای مقایسه میانگین از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد استفاده گردید. تجزیۀ همبستگی صفات اندازه‌گیری‌شده به‌کمک نرم‌افزارSPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش نشان داد که آبیاری تکمیلی اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ۳)، به‌نحوی‌که مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی ۱۳۲درصد بیشتر از شرایط دیم (با بارش ۹۸میلی‌متر در طی ماه‌های اسفند تا خرداد) بود. در یک تحقیق، افزایش ۳۶درصدی افزایش در وزن خشک بوته نخود با اعمال آبیاری گزارش شد (Bakhsh *et al.*, 2007). مصرف کود آهن نیز اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ۳). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسۀ میانگین‌ها نشان داد که مصرف کود آهن موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد و تیمار کاربرد خاکی به همراه محلول‌پاشی در مرحلۀ گلدهی (Fe_7) بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک را (۳۶۸۳کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر تیمارهای کود آهن نشان داد. تیمارFe_7 از نظر این صفت با تیمارFe_1 (عدم مصرف کود آهن) دارای تفاوت معنی‌دار بود، اما با سایر سطوح مصرف کود آهن اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در آزمایشی گزارش گردید که محلول‌پاشی کود آهن موجب افزایش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده سویا شد (Mosivand *et al.*, 2009). همچنین مصرف کود آهن سبب افزایش ماده خشک شلغم علوفه‌ای (Moghadam *et al.*, 2013) و لوبیا (Jokar *et al.*, 2015) شد. از نقش‌های مثبت آهن، افزایش میزان تولید کلروفیل و نمو کلروپلاست و به‌دنبال آن افزایش میزان فتوسنتز و تولید کربوهیدرات می‌باشد که در نتیجه بالارفتن میزان فتوسنتز، شرایط مناسب‌تری برای رشد و نمو گیاه فراهم می‌شود (Yassen *et al.*, 2010). در آزمایشی، محلول‌پاشی کود آهن اثر معنی‌داری بر میزان سبزینگی برگ و شاخص سطح برگ گیاه نخود داشت. همچنین محلول‌پاشی آهن بر روی برگ‌های گیاه نخود سبب کاهش اثرات تنش خشکی گردید (Ahmadi *et al.*, 2016).

شرایط رطوبتی اثر معنی‌داری بر صفت عملکرد دانه داشت (جدول ۳) و در شرایط آبیاری تکمیلی به میزان ۵۰میلی‌متر در مرحله گلدهی و ۵۰میلی‌متر در مرحله غلاف‌بندی، عملکرد دانه بیشتر از شرایط دیم به‌دست آمد (به‌ترتیب ۲۱۸۴ و ۵۴۶کیلوگرم در هکتار). در یک گزارش، ۱۷درصد افزایش در عملکرد دانه نخود با اعمال آبیاری به‌دست آمد (Bakhsh *et al.*, 2007). نتایج مشابهی در گزارش‌های دیگری نیز وجود دارد (Pezeshkpoor & Mousavi, 2005; Ghasemi-Golozani *et al.*, 2004). در بررسی چندساله روی حبوبات (نخود، نخودفرنگی و ماش) گزارش شد که همبستگی بالایی بین مصرف آب و عملکرد دانه وجود داشت، به‌طوری‌که بالاترین پاسخ را گیاه نخود در بین سه گیاه مورد آزمایش (هر میلی‌متر افزایش در مصرف آب، ۱۰/۶کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد) نشان داد (Nielsen, 2001). در آزمایش حاضر، فاکتور کود آهن اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۳). مصرف کود آهن موجب افزایش عملکرد دانه شد و تیمار خاک‌کاربرد به همراه محلول‌پاشی در مرحلۀ گلدهی (Fe_7) دارای مقدار بالاتری (۱۶۱۴کیلوگرم در هکتار) نسبت به دیگر سطوح فاکتور کود آهن بود (جدول ۴). همچنین اثر متقابل رژیم رطوبتی و کود آهن، بر روی صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود و تیمار مصرف کود آهن به‌صورت خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی در مرحله گلدهی در شرایط آبیاری تکمیلی (I_2Fe_7) دارای بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۵۹۸کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر سطوح کود آهن در هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بود (جدول ۵)، هرچند تفاوت معنی‌داری با تیمارهای Fe_2، Fe_3، Fe_5 و Fe_6 آبیاری تکمیلی نداشت. در مطالعه‌ای مشاهده شد که مصرف کود سولفات آهن موجب افزایش معنی‌دار در شاخه‌دهی و عملکرد دانۀ نخود زراعی گردید (Bahari *et al.*, 2005). در یک تحقیق، محلول‌پاشی آهن موجب افزایش عملکرد در سویا شد (Groos & Johanson, 2004). در آزمایشی گزارش شد که محلول‌پاشی سولفات آهن در مرحلۀ آغاز به‌ساقه‌رفتن و آغاز گلدهی، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد کلزا گردید (Afshani

et al., 2015). استفاده از کودهای آهن و روی با هم به‌طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد دانهٔ گندم گردید (Habib, 2009). در نتایج حاصل از آزمایش حاضر، مقدار عملکرد دانه در تیمار Fe_7 (مصرف خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ گلدهی) بیشتر از سایر تیمارها بود. از طرف دیگر، تیمار Fe_7 از نظر عملکرد بیولوژیک مقدار بیشتری را به خود اختصاص داد. از عوامل اصلی برتری Fe_7 از نظر عملکرد دانه، افزایش عملکرد بیولوژیک و به‌دنبال آن افزایش تعداد دانه در غلاف می‌باشد. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که مصرف توأم کود آهن به‌صورت خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی در مرحلهٔ گلدهی موجب افزایش باروری و افزایش تعداد دانه در غلاف شده است. از عوامل فرعی مسبب این امر، می‌توان به افزایش وزن۱۰۰دانه حاصل از مصرف تیمار Fe_7 اشاره نمود.

صفت شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و مصرف کود آهن قرار گرفت (جدول ۳). مقدار شاخص برداشت در شرایط آبیاری تکمیلی (۴۶/۳۲درصد) بیشتر از شرایط دیم (۲۷/۰۹درصد) بود. در بین تیمارهای مصرف کود آهن، تیمار Fe_2 (مصرف خاک‌کاربرد) و تیمار Fe_7 دارای شاخص برداشت بالاتری (به‌ترتیب ۳۹/۳۵ و ۳۹/۱۶درصد) نسبت به سایر تیمارها بودند (جدول ۴). فاکتور شرایط رطوبتی اثر معنی‌داری بر عملکرد کاه داشت (جدول ۳) و مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر از شرایط دیم بود (به‌ترتیب ۲۴۸۱ و ۱۴۵۹کیلوگرم در هکتار). آبیاری تکمیلی مخصوصاً در زمان گلدهی و پُرشدن غلاف‌های نخود به‌دلیل تأثیر مثبت بر توسعه تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته، سبب افزایش عملکرد کاه می‌شود. افزایش عملکرد کاه نخود در اثر انجام آبیاری تکمیلی در برخی تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Tuba Bicer *et al*., 2004; Parsa *et al*., 2011). اثر فاکتور کود آهن بر این صفت، از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی بر تعداد غلاف در بوته اثر معنی‌داری داشته است (جدول ۳) و مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط دیم بود (به‌ترتیب ۲۵/۲۸۳ و ۸/۷۷۵ غلاف). با عنایت به این‌که آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پُرشدن غلاف انجام گرفت، لذا تفاوت در تعداد غلاف در اثر آبیاری تکمیلی می‌تواند به علت تداوم رشد رویشی باشد که البته نقش رشد نامحدود گیاه نخود را نیز در این ارتباط نباید نادیده گرفت. تأثیر آبیاری تکمیلی در مرحله پُرشدن غلاف نخود روی تعداد غلاف در بوته در پژوهش دیگر نیز گزارش شده است (Jalilian *et al*., 2005). اثر فاکتور کود آهن بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار نبود. همچنین اثر فاکتور شرایط رطوبتی بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود (جدول ۳). این در حالی است که در یک گزارش، با اجرای آبیاری تکمیلی در نخود، تعداد دانه در غلاف ۴۸درصد افزایش یافت (Bakhsh *et al*., 2007). اثر متقابل آبیاری تکمیلی و مصرف کود آهن نیز بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار گردید (جدول ۳) و بیشترین تعداد دانه در غلاف به میزان ۱/۷۵۵عدد در تیمار مصرف خاک کاربرد و محلول‌پاشی کود آهن در مرحله گلدهی (I_1Fe_7) مشاهده شد (جدول ۵). از نظر آماری وزن۱۰۰دانه تحت تأثیر آبیاری تکمیلی قرار گرفت و مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر از شرایط دیم (به‌ترتیب ۲۵/۹۲ و ۲۰/۹۱ گرم) بود (جدول ۳). پایین‌تربودن وزن۱۰۰دانه در شرایط محدودیت رطوبتی به‌دلیل بروز رقابت دانه‌ها در به‌دست‌آوردن آب و مواد غذایی و کاهش کربوهیدرات ذخیره‌ای گیاه است که تعداد سلول‌های مولد و وزن۱۰۰دانه کاهش می‌یابد (Vaziri Kateshori *et al*., 2014).

تجزیه واریانس نشان داد که آبیاری تکمیلی و کود آهن اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه داشتند (جدول ۳) و مقدار آن در شرایط دیم بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی (به‌ترتیب ۲۸ و ۲۶درصد) بود. بالاتربودن درصد پروتئین در شرایط دیم می‌تواند مرتبط با کاهش طول دورهٔ رشد و نمو در این شرایط باشد که موجب کاهش نسبت کربوهیدرات به پروتئین در دانه و در نتیجه افزایش درصد پروتئین دانه شده است. افزایش درصد پروتئین دانه نخود تحت شرایط تنش رطوبتی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Jalilian *et al*., 2005; Maleki *et al*., 2011). آن‌ها گزارش کردند که در شرایط تنش رطوبتی، درصد پروتئین دانه افزایش یافته است. مصرف کود آهن اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه داشت (جدول ۳) و تیمار Fe_7 از محتوای پروتئین بیشتری (۲۷/۷۲درصد) نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود (جدول ۴). در این رابطه گزارش شده است که با محلول‌پاشی کود آهن در گیاه عدس، درصد پروتئین دانه افزایش یافته است (Mehrban, 2017). در تحقیقی که در آن، اثر کود آهن در گیاه شلغم علوفه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت، گزارش شد که مصرف کود آهن سبب افزایش پروتئین خام و درصد فیبرهای غیرمحلول شد (Moghadam *et al*., 2013).

اثر آبیاری تکمیلی روی محتوای آهن دانه از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). با این وجود، مقدار آن در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر از شرایط دیم (به‌ترتیب ۶۲/۸ و ۵۸/۸میلی‌گرم درکیلوگرم) بود. بیشتربودن محتوای آهن دانه در شرایط بدون تنش خشکی، به نقش آب در جذب عناصر مورد نیاز گیاه مخصوصاً آهن برمی‌گردد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده تحت تأثیر فاکتورهای آبیاری تکمیلی، کود آهن و اثرمتقابل آن‌ها

Table 3. Analysis of variance of traits for supplemental irrigation, Fe fertilizer and its interactions

منابع تغییرات **S.O.V**	درجه آزادی **df**	عملکرد بیولوژیک **Biologic yield**	عملکرد دانه **Grain yield**	شاخص برداشت **Harvest index**	عملکرد کاه **Straw yield**	تعداد غلاف در بوته **Pods per plant**	تعداد دانه در غلاف **Grains per pod**	وزن۱۰۰دانه **100 grain weight**	محتوای آهن دانه **Grain Fe content**	محتوای پروتئین دانه **Grain protein content**	محتوای فیبر دانه **Grain fiber content**
تکرار Replication	2	389456	101316	34.632	167988	15.317	0.014	1.545	30.579	0.62	0.034
آبیاری تکمیلی(I) Supplemental irrigation (I)	1	84883738^{*}	32188633^{**}	4435.9^{**}	12538714^{*}	3270.3^{*}	0.006^{ns}	300.9^{*}	184.84^{ns}	48.985^{*}	0.0001^{ns}
خطای۱ Error1	2	2199464	197489	33.15	1086845	36.277	0.056	24.295	42.981	2.304	0.065
کود آهن(Fe) Fe fertilizer (Fe)	7	751262^{*}	344819^{*}	41.109^{*}	123139^{ns}	9.025^{ns}	0.087^{*}	1.137^{ns}	83.485^{**}	1.891^{*}	0.033^{ns}
اثر متقابل I × Fe	7	530583^{ns}	302085^{*}	34.48^{ns}	74603^{ns}	23.916^{ns}	0.096^{*}	2.209^{ns}	28.702^{ns}	0.536^{ns}	0.037^{ns}
خطای۲ Error2	28	309874	103113	16.055	92639	11.667	0.036	2.912	16.521	0.452	0.016
ضریب تغییرات CV (%)		16.69	23.52	10.91	15.44	20.06	16.06	7.29	6.68	2.49	2.54

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج‌درصد و یک‌درصد.

ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% level of probability, respectively

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین‌های صفات اندازه‌گیری‌شده تحت تأثیر مصرف کود آهن

Table 4. Mean comparisons of traits for Fe fertilizer

تیمار کود آهن **Fe treatments**	عملکرد بیولوژیک **Biologic yield (kg ha^{-1})**	عملکرد دانه **Grain yield (kg ha^{-1})**	شاخص برداشت **Harvest index (%)**	تعداد دانه در غلاف **Grains per pod**	محتوای آهن دانه **Grain Fe content (mg kg^{-1})**	محتوای پروتئین دانه **Grain protein content (%)**
Fe_1	2777 b	1114 c	35.4 ab	1.077 b	56.04 c	26.37 c
Fe_2	3583 a	1569 ab	39.35 a	1.09 b	59.66 bc	27.28 ab
Fe_3	3681 a	1570 ab	37.8 ab	1.225 b	55.82 c	27.42 ab
Fe_4	3053 ab	1062 c	32.6 b	1.151 b	60.94 bc	26.65 bc
Fe_5	3225 ab	1252 abc	33.51 b	1.163 b	61.46 b	26.17 c
Fe_6	3624 a	1582 a	38.93 a	1.099 b	63.84 ab	27.48 ab
Fe_7	3683 a	1614 a	39.16 a	1.45 a	62.19 ab	27.72 a
Fe_8	3029 ab	1159 bc	36.95 ab	1.153 b	66.88 a	26.99 abc

Fe_1: عدم کاربرد کود آهن؛ Fe_2: کود آهن به‌صورت خاک‌کاربرد؛ Fe_3: محلول‌پاشی کود آهن در مرحلهٔ شاخه‌دهی؛ Fe_4: محلول‌پاشی کود آهن در مرحلهٔ گلدهی؛ Fe_5: محلول‌پاشی کود آهن در مرحلهٔ غلاف‌دهی؛ Fe_6: کود آهن به صورت خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ شاخه‌دهی؛ Fe_7: کود آهن به صورت خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ گلدهی؛ Fe_8: کود آهن به صورت خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ غلاف‌دهی

Fe_1: no Fe fertilizer; Fe_2: Fe fertilizer as soil application; Fe_3: Fe fertilizer as foliar application during branching; Fe_4: Fe fertilizer as foliar application during flowering; Fe_5: Fe fertilizer as foliar application during podding; Fe_6: Fe fertilizer as soil application+foliar application during branching; Fe_7: Fe fertilizer as soil application+foliar application during flowering; Fe_8: Fe fertilizer as soil application+foliar application during podding

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین‌های صفات اندازه‌گیری‌شده در اثرمتقابل آبیاری تکمیلی×کود آهن

Table 5. Mean comparisons of traits for supplemental irrigation × Fe fertilizer

اثر متقابل آبیاری تکمیلی×کود آهن **I×Fe interaction**	عملکرد دانه **Grain yield (kg ha^{-1})**	تعداد دانه در غلاف **Grains per pod**
I_1Fe_1	393.5 c	1.036 b
I_1Fe_2	589 c	1.045 b
I_1Fe_3	568.2 c	1.246 b
I_1Fe_4	479.8 c	1.183 b
I_1Fe_5	392.8 c	1.109 b
I_1Fe_6	572.8 c	1.071 b
I_1Fe_7	630.4 c	1.755 a
I_1Fe_8	743.5 c	1.049 b
I_2Fe_1	1835 b	1.119 b
I_2Fe_2	2548 a	1.135 b
I_2Fe_3	2571 a	1.203 b
I_2Fe_4	1643 b	1.12 b
I_2Fe_5	2112 ab	1.216 b
I_2Fe_6	2591 a	1.127 b
I_2Fe_7	2598 a	1.145 b
I_2Fe_8	1575 b	1.257 b

I_1: شرایط دیم؛ I_2: شرایط آبیاری تکمیلی؛ Fe_1: عدم کاربرد کود آهن؛ Fe_2: کود آهن به‌صورت خاک‌کاربرد؛ Fe_3: محلول‌پاشی کود آهن در مرحلهٔ شاخه‌دهی؛ Fe_4: محلول‌پاشی کود آهن در مرحلهٔ گلدهی؛ Fe_5: محلول‌پاشی کود آهن در مرحلهٔ غلاف‌دهی؛ Fe_6: کود آهن به صورت خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ شاخه‌دهی؛ Fe_7: کود آهن به صورت خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ گلدهی؛ Fe_8: کود آهن به صورت خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ غلاف‌دهی.

I_1: dryland; I_2: supplemental irrigation; Fe_1: no Fe fertilizer; Fe_2: Fe fertilizer as soil application; Fe_3: Fe fertilizer as foliar application during branching; Fe_4: Fe fertilizer as foliar application during flowering; Fe_5: Fe fertilizer as foliar application during podding; Fe_6: Fe fertilizer as soil application+foliar application during branching; Fe_7: Fe fertilizer as soil application+foliar application during flowering; Fe_8: Fe fertilizer as soil application+foliar application during podding.

مصرف کود آهن اثر معنی‌داری بر محتوای آهن دانه داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها، تیمار Fe_8 (خاک‌کاربرد+محلول‌پاشی در مرحلهٔ غلاف‌بندی) دارای بیشترین میزان آهن در دانه بود (۶۶/۸۸میلی‌گرم درکیلوگرم وزن خشک)؛ و تیمارهای Fe_1 (عدم کاربرد کود آهن) و Fe_3 (محلول‌پاشی در مرحلهٔ شاخه‌دهی)، کمترین مقادیر (به‌ترتیب ۵۶/۰۲ و ۵۵/۸۲میلی‌گرم درکیلوگرم) را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). بر اساس نتایج یک بررسی، مقدار آهن دانهٔ گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی با سولفات آهن، نسبت به حالت شاهد افزایش یافت (Zhang *et al*, 2010). همچنین گزارش شده که محلول‌پاشی کود آهن موجب افزایش محتوای آهن دانهٔ گندم شده است (Pahlavan-Rad & Pesarakli, 2009). این نتیجه در واقع نشان‌دهندهٔ حرکت آهن از برگ‌ها به سمت دانه می‌باشد (Garnett & Graham, 2005). در آزمایش حاضر نیز فاصلهٔ زمانی کمتر محلول‌پاشی کود آهن در مرحلهٔ غلاف‌بندی با رسیدگی دانه، نسبت به دیگر مراحل فنولوژیکی انتخاب‌شده برای محلول‌پاشی، موجب افزایش حرکت آهن از سمت برگ‌ها و غلاف‌ها به سمت دانه شده است. در تیمارFe_1 که در آن کود آهن اضافه نشده بود، دور از انتظار نیست که مقدار کمتری را به خود اختصاص دهد. اما در مورد تیمارFe_3 (محلول‌پاشی در مرحلهٔ شاخه‌دهی) می‌توان چنین استنباط نمود که محلول‌پاشی کود آهن در مرحلهٔ شاخه‌دهی، احتمالاً روی صفاتی مانند سطح برگ، شاخه‌دهی و صفات مرتبط با رشد

رویشی گیاه بیشتر اثر گذاشته است و اثر کمتری روی میزان آهن دانه داشته است. همچنین مشخص شد مصرف توأم کود آهن به‌صورت خاک‌کاربرد و به‌صورت محلول‌پاشی (تیمارهای Fe_6، Fe_7 و Fe_8)، موجب تجمع مقادیر بیشتری از میزان آهن در دانه شد. این نتیجه این ادعا را که ممکن است مصرف خاک‌کاربرد کود آهن نیز تا حدی بتواند تأثیر مثبتی در افزایش میزان آهن دانه داشته باشد، تأیید می‌نماید.

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی صفات مورد بررسی (جدول ۶) نشان می‌دهد که صفات عملکرد بیولوژیک (۰/۹۷)، شاخص برداشت (۰/۸۶)، عملکرد کاه (۰/۹۵)، تعداد غلاف در بوته (۰/۸۶) و وزن۱۰۰دانه (۰/۷۰) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارند، اما تعداد دانه در غلاف (۰/۰۶) همبستگی منفی و غیرمعنی‌داری با عملکرد دانه داشت. درصد پروتئین دانه همبستگی منفی و معنی‌دار (۰/۵۸-) با عملکرد دانه نشان داد، اما میزان آهن دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه بود. در مورد درصد پروتئین دانه، با توجه به افزایش آن در شرایط تنش (به‌خصوص تنش خشکی) و کاهش عملکرد در این شرایط (Jalilian *et al,* 2005)، می‌توان موضوع را به کاهش طول دورۀ رشد و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه نسبت داد. در این شرایط، میزان پروتئین نسبت به کربوهیدرات افزایش می‌یابد (Jalilian *et al,* 2005; Maleki *et al,* 2011). از نظر میزان آهن دانه، با توجه به این‌که میزان آهن دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفات عملکرد بیولوژیک (۰/۳۲)، عملکرد کاه (۰/۳۴) و تعداد غلاف در بوته (۰/۳۶) بوده است، لذا بنا بر همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با صفات مذکور، در نتیجه این موضوع موجب همبستگی مثبت و معنی‌دار میزان آهن دانه با عملکرد دانه (۰/۳۴) شده است. افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف کود آهن می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور آهن، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز، افزایش ریبوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و افزایش کارآیی جذب نیتروژن و فسفر در حضور آهن اشاره نمود (Rahmani *et al*., 2013; Sharafi *et al*., 2001).

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده صفات مختلف در گیاه نخود تحت تأثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی و کود آهن

Table 6. Simple correlation coefficients among different traits in response to supplemental irrigation and Fe fertilizer in chickpea

صفات Traits	(1) عملکرد دانه Grain yield	(2) عملکرد بیولوژیک Biologic yield	(3) عملکرد کاه Straw yield	(4) تعداد غلاف در بوته Pods per plant	(5) تعداد دانه در غلاف Grains per pod	(6) وزن صد دانه 100 grain weight	(7) شاخص برداشت Harvest index	(8) محتوای پروتئین دانه Grain protein content	(9) محتوای آهن دانه Grain Fe content
(1)	1								
(2)	0.979**	1							
(3)	0.956**	0.877**	1						
(4)	0.86**	0.855**	0.805**	1					
(5)	-0.06ns	-0.086ns	-0.018ns	-0.06ns	1				
(6)	0.701**	0.769**	0.551**	0.737**	-0.193ns	1			
(7)	0.868**	0.963**	0.706**	0.835**	-0.16ns	0.877**	1		
(8)	-0.582**	-0.568**	-0.558**	-0.695**	0.161ns	-0.683**	-0.595**	1	
(9)	0.345*	0.32*	0.347*	0.369**	0.065ns	0.27ns	0.338*	-0.206ns	1

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج‌درصد و یک‌درصد

ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% level of probability, respectively

نتیجه‌گیری

آبیاری تکمیلی عملکرد دانه نخود را از ۵۴۶ به ۲۱۸۴کیلوگرم در هکتار افزایش داد. همچنین آبیاری تکمیلی سبب افزایش اجزای عملکرد و سایر صفات مورد بررسی به‌جُز درصد پروتئین دانه گردید. تأثیر مثبت آبیاری تکمیلی روی عملکرد دانه عمدتاً از طریق افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن۱۰۰دانه اتفاق افتاد. همچنین، کاربرد کود آهن بر صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت، درصد پروتئین دانه و میزان آهن دانه گیاه نخود اثر مثبت و معنی‌دار داشت. تأثیر مثبت کود آهن روی عملکرد دانه

عمدتاً از طریق افزایش تعداد دانه در غلاف بود. بالاترین مقـادیر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانــه در غـلاف و درصـد پروتئین دانه هنگامی حاصل شد که کود آهن به صـورت خـاک کاربرد در مرحله کاشت به همـراه محلـول‌پاشـی در در مرحلـه گلدهی مصرف شد. همچنین بالاترین محتوای آهن دانه مربوط به تیماری بود که مصرف کود آهن بـه‌صـورت خـاک‌کـاربرد در مرحله کاشت به همراه محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌بندی بـود. بنابراین، به نظر می‌رسد جهـت ارتقـاء عملکـرد کمّـی و کیفـی نخود رقم آزاد، انجام آبیـاری تکمیلـی و کـاربرد کـود آهـن بـه صورت خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی در مرحله گلدهی قابل‌توصیه باشد.

منابع

1. Afshani, S., Amirnia, R., and Hadi, H. 2015. Study effect of foliar application of iron and zinc on yield and yield components of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.) under limited irrigation. Iranian Journal of Field Crops Research 13(1): 43-52. (In Persian).
2. Ahmadi, L., Ghobadi, M., Saeidi, M., and Ghaderi, J. 2016. The study of some physiologic and biochemical traits to drought stress and methods of Fe fertilizer application in chickpea. Journal of Plant Process and Function 4(14): 165-176. (In Persian).
3. Anonymous. 2015. Crop Production Statistics. Ministry of Agriculture-Jahad. (In Persian).
4. Bagheri, A., A. Nezami., A., Ganjeali, and Parsa, M.2001. The Chickpea. Jahad Daneshgahi Mashhad Press. p. 224-251. (In Persian).
5. Bakhsh, A., Malik, S.R., Mohammad, A., Umer, I., and Haqqani, A.M. 2007. Response of chickpea genotypes to irrigated and rain-fed conditions. International Journal of Agricultural and Biological 9: 590-593.
6. Beard, J.L. 2001. Iron biology in immune function, muscle metabolism and neuronal functioning. The Journal of Nutrition 131: 568-580.
7. Briat, J.F. 2007. Iron Dynamics in Plant. In: J.C. Kader & M. Delseny (Eds.). Advances in Botanical Research: Incorporating Advances in Plant Pathology. Vol. 46. Academic Press, London, UK, ISBN 9780123737052, p. 137-180.
8. Bybordi, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae 2(1): 94-103.
9. Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehghani, M., Modarres Sanavi, S.A.M., and Hashemi, S. 2011. The effects of soil and foliar application of Fe on some biochemical characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under two irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 42(3): 509-518. (In Persian).
10. Farzami Sepehr, M. 2013. The Essentials of Practical Plant Physiology. Jahade-Daneshgahi Mashhad Press.184 pp. (In Persian).
11. Galeshi, S., Farzaneh, S., and Soltani, A. 2005. Investigation of drought tolerance at seedling stage in forty genotypes of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Crop Breeding Journal 21(1): 65-79. (In Persian).
12. Garnett, T.P., and Graham, R.D. 2005. Distribution and remobilization of iron and copper in wheat. Annals of Botany 95: 817-826.
13. Ghasemi-e-Golozani, K., Fathollahzadeh, M., and Dalil, B. 2004. Effect of Water Deficit on Yield and HI in Chickpea Grain at Tabriz. p. 447. In: Proceedings of the 10th Iranian Crop Sciences Congress. Karaj, Iran. (In Persian).
14. Gholinezhad, S. 2018. Effect of drought stress and nano-fertilizer on grain yield, yield components and water use efficiency in dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27(4): 93-105. (In Persian).
15. Gogor Cena, Y., Abadía, J., and Abadía, A. 2004. A new technique for screening iron-efficient genotypes in peach rootstocks elicitation of root ferric chelate reductase by manipulation of external iron concentrations. Journal of Plant Nutrition 27: 1701-1715.
16. Groos, R.J., and Johanson, B.E. 2004. Seed treatment, seeing rate, and cultivar effect on iron deficiency chlorosis of soybean. Journal of Plant Nutrition 24: 1255-1268.

17. Jovkar, L., Ronaghi, A., Karimian, N.A., and Ghasemi Fasaye, R. 2015. Effect of applying different level of Fe and Fe EDDHA on growth and some concentration elements of bean plant in a calcareous soil. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 6(22): 9-18. (In Persian).
18. Habib, M. 2009. Effect of application of Zn and Fe on wheat yield and quality. African Journal of Biotechnology 8: 6795-6798.
19. Hansch, R., and Mendel, R.R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current Opinion in Plant Biology 12: 259-266.
20. Jalilian, J., Modarres Sanavi, S.A.M., and Sabaghpour, S.H. 2005. Effect of plant density and supplemental irrigation of yield, yield components and protein content of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditons. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 12(5): 1-9. (In Persian).
21. Mahmoudi, H., Koyro, H.W., Debez, A., and Adelly, C. 2009. Comparison of tow chickpea varieties regarding their responses to direct and induced Fe deficiency. Environmental and Experimental Botany 66: 349-356.
22. Maleki, A., Heidari, A., Siadat, A., Tahmasebi, A., and Fathi, A. 2011. Effect of supplementary irrigation on yield, yield components and protein percentages of chickpea cultivars in Ilam, Iran. Journal of Crop Ecophysiology 5(3): 65-75. (In Persian).
23. Mayoral, M., Atsman, L.D., Shimshi, D., and Gromete-Elhanan, Z. 1991. Effect of water stress of enzyme activities on wheat and related wild species: carboxylase activity, electron transport and photophrylation in isolated chloroplast. Australian Journal of Plan Physiology 8: 385-393.
24. Mehraban, A. 2017. Effect of foliar application of iron on yield, yield component, and grain protein of lentil crop. Journal of Iranian Ecophysiological Research 12(45): 27-37. (In Persian).
25. Mengel, K., and Kirkby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 5th Edn. Kluwer Academic Publishers. Translated by Salardini, A., and Mojtahedi, M.
26. Moghadam, H., Dashtaki, M., and Mohammadi, M. 2013. Effects of phosphorous, iron and zinc fertilizers on quantity and quality of turnip (*Brassica napa*) forage. Iranian Journal of Field Crop Sciences 43(4): 681-689. (In Persian).
27. Moosivand, M., Khorgami, A., and Rafiei, M. 2009. Evaluation of Fe on growth and yield components in different soybean genotypes. Crop Physiology Journal 1(4): 35-45. (In Persian).
28. Nielsen, D.C. 2001. Production function for chickpea, field pea, and lentil in the central great plains. Agronomy Journal 93: 563-569.
29. Osborne, B.G., Henry, R., and Southan, M.D. 2007. Assessment of commercial milling performance of hard wheat by measurement of the rheological properties of whole grain. Journal of Cereal Science 45: 122-127.
30. Pahlavan-Rad, M., and Pessarakli, M. 2009. Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese application and uptake and concentration of zinc, iron, and manganese in wheat grains. Communications in Soil Sciences and Plant Analysis 40: 1322-1332.
31. Parsa, M., Ganjeali, A., Rezaiean, A., and Nezami, A. 2011. Effects of supplemental irrigation on yield and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Mashhad. Iranian Journal of Field Crops Research 9(3): 310-321. (In Persian).
32. Pezeshkpoor, P., and Mousavi, S.K. 2005. Correlation between drought indices and grain yield in chickpea in optimum condition (autumn sowing) and stress condition (spring sowing). In: Proceeding of 1st Iranian Pulse Crops Symposium. Mashhad, Iran. Pp. 318. (In Persian).
33. Rahmani, A., Mirza, M., and Tabaei Aghdai, S.R. 2013. Effects of different fertilizaers (macro and micro element) on quantity and quality of essential oil and other byproducts of *Rosa domascena* Mill. in Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29(4): 747-759. (In Persian).
34. Romheld, V., and Marschner, H. 1991. Function of Micronutrients in Plants. In: J. J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch. Micronutrients in Agriculture (2nd Ed.). p. 297-328. Madison, WI: SSSA.
35. Saxena, M.C., Malhotra, R.S., and Singh, K.B. 1990. Iron deficiency in chickpea in the Mediterranean region and its control through resistant genotypes and nutrient application. Plant and Soil 123: 251-254.

36. Saxena, M.C., and Sheldark, A.R. 2003. Iron chlorosis in chickpea grown on higher pH calcareous vertisol. Field Crops Research 3: 211-214.
37. Sharafi, S. Tajbakhsh, M., Majidi, M., and Pourmirza, A.A. 2001. Effect of iron and zinc fertilizers on the yield of two maize cultivars in Urmia. Abstracts of the 7th Congress of Soil Science, Iran, 4-7 September. p. 424-425. (In Persian).
38. Tuba Bicer, B., Narin Kolender, A., and Akar, D.A. 2004. The effect of irrigation on spring-sown chickpea. Journal of Agronomy, Asian Network for Scientific Information 3: 154-158.
39. Vaziri Kateshori, S., Daneshvar, M., Sohrabi, A., and Nazarian Firoz Abadi, F. 2014. Effects of foliar application of P, Zn and Fe on grain yield and yield components of chickpea. Agricultural Crop Management 15(2): 17-30. (In Persian).
40. Wiersma, J.V. 2005. High rates of Fe–EDDHA and seed iron concentration suggest partial solution to iron deficiency in soybean. Agronomy Journal 97: 924-934.
41. Yassen, A., Abou El-Nour, E.A.A., and Shedeed, S. 2010. Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. Journal of American Science 6(9): 14-22.
42. Zhang, Y., Shi, R., Rezaul, K.M.D., Zhang, F., and Chunqin. Z. 2010. Iron and Zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application. Journal of Agricultural Food Chemistry 58: 12268-12274.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 2, 2019, p. 119-131 (Research Article)

The effect of supplemental irrigation, time and methods of Fe fertilizer application on qualitative and quantitative traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Ahmadi[1], L., Ghobadi[2*], M., Saeidi[2], M. & Ghaderi[3], J.

1. Department of Plant Production and Genetics Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, loghmanahamdi2004@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, (m.ghobadi@yahoo.com; msaeidi667@gmail.com, respectively)
3. Assistant Professor, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, ghaderij@yahoo.com

Received: 1 November 2017
Accepted: 29 March 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.68262

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important grain legumes in the south Asia and WANA (West Asia North Africa). In Iran, chickpea is the most important pulse crop of rain-fed systems, traditionally grown in rotation with wheat and barley. The annual cultivation and production of chickpea in Iran is about 0.5 million hectares and 270 thousand tons, respectively. High protein content in chickpea seed (about 20-30%) makes it a good food source for developing countries and low-income people. Among the micro-nutrients, iron (Fe) is used more for plants. Fe deficiency has adverse effects on plant morphology and physiology. Earlier studies have shown that Fe deficiency reduced seed yield in chickpea, soybeans, rapeseed and wheat. In a study, application of iron fertilizer increased the branching and yield components of chickpea. In another study, application of iron fertilizer increased the branching and yield components of chickpea. A study showed that Fe deficiency reduced the water use efficiency of chickpea. In another study, iron sulfate foliar application improved the symptoms of Fe deficiency and increased the yield in low-yielding cultivars, but did not have much effect on high yielding cultivars. Foliar application of iron sulfate also increased the seed iron content. The objective of this research was to study the effects of Fe fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of chickpea. Comparison of time and methods of Fe fertilization in chickpea was another aim of this study.

Materials & Methods

This research was carried out at the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, in 2011. The experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design with three replications. Dryland conditions and supplementary irrigation were considered as the main factors as well as the time and methods of application of Fe fertilizer as the sub factors. Fe fertilizer treatments included as follow: without application of Fe fertilizer (Fe_1), soil application of Fe fertilizer during planting (Fe_2), Fe spraying at branching stage (Fe_3), Fe spraying during flowering (Fe_4) Fe spraying during pod filling (Fe_5), Fe soil application+Fe spraying at branching stage (Fe_6), Fe soil application+Fe spraying during flowering (Fe_7), Fe soil application+Fe spraying during pod filling (Fe_8). For irrigation treatment, two supplemental irrigations were performed at flowering and podding stages of chickpea. For rainfed conditions, these irrigations were prevented. To soil application, Fe-EDDHA (OMEX Company, Germany) as much as 10 Kg ha^{-1} was used. For leaf spraying, a solution of iron sulfate (Cavin Company, Iran) was used as much as 1 lit ha^{-1}. The planting date was March 15, 2011. The density was 50 plants per square meter. Each plot consisted of six rows, five meters long, 25 cm distance between two rows.

Results & Discussion

The results showed that the supplementary irrigation had significant effects on biological yield, grain yield, harvest index, straw yield, the number of pods per plant, 100 seed weight and seed protein content. For

*** Corresponding Author:** m.ghobadi@yahoo.com

these traits, the supplementary irrigation treatment was superior to rainfed conditions. However, supplementary irrigation did not have significant effects on the number of seeds per pod, grain iron content and grain fiber content. The effect of Fe fertilizer on biological yield, grain yield, harvest index, the number of seeds per pod, grain iron content and grain protein content were significant. Straw yield, the number of pods per plant, 100 seed weight and grain fiber content were not influenced by time and methods of Fe fertilizer. The highest grain yield (1614 Kg ha^{-1}), biological yield (3683 Kg ha^{-1}), the number of seeds per pod (1.45 seeds) and seed protein content (27.72%) were obtained in Fe_7 treatment. Fe_8 treatment had the highest seed iron content.

Conclusion

The supplemental irrigation improved seed yield and its components. Also, supplementary irrigation increased the seed iron content, but reduced the seed protein content. The time and methods of application of Fe fertilizer increased the quantitative and qualitative grain yield. Therefore, it seems that in order to increase the quantitative and qualitative grain yield of chickpea, the supplementary irrigation with application of Fe fertilizer (as soil and foliar application) can be recommended.

Keywords: Grain yield, Seed iron content, Seed protein, Supplemental irrigation, Yield components